



دراسة أعدت لنيل درجة الماجستير في الهندسة الطبية

إعداد: م. خالد بكيراتي

إشراف: أ.م.د. هاني عماشة المشرف المشارك: أ.د. محمد موسى

كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية

قسم الهندسة الطبية

الملخص

يهدف البحث إلى دراسة تأثير الأمواج الكهربية على أداء الصمامات القلبية الميكانيكية المزروعة من خلال معدل الامتصاص النوعي ومركبات الموجة الكهربية والمغناطيسية في النموذج، والمقارنة بين حالتي وجود الزرعة وغيابها، يضاف إلى ذلك المقارنة مع السويات الكهربية المعيارية المرجعية العالمية المسموح بها. ثم تسليط الضوء على سويات المحددات السابقة في الحالتين وما يمكن أن تؤدي إليه والإضاءة على الآثار الجانبية التي تعيق عمل الزرعة أو إمكانية تأثيرها على المريض وزيادة الوعي حول التعرض الكهربي المحيط بالإنسان في هذا العصر في الحياة اليومية.

اعتمدت الدراسة على تقنيات الكهربية الحاسوبية ومنها الفروق المتناهية في المجال الزمني FDTD (Finite Difference Time Domain) وذلك بمساعدة البيئة البرمجية CST (Computer Simulation Technology) التي تمثل حزمة برمجيات تؤمن المحاكاة ثلاثية الأبعاد للحقول الكهربية بطيف تردد وواسع.

تم تقدير معدل الامتصاص النوعي SAR والحقلين الكهربي والمغناطيسي في حالتين، الأولى للإنسان السليم بدون صمام قلبي ميكانيكي تعويضي والثانية بوجود الصمام عند ترددين مختلفين (0.9 & 1.8) GHz) ناتج من التعرض الكهربي المستمر بواسطة الجوال الذي يقوم بإرسال واستقبال هذه الترددات بشكل مستمر يومياً، ومن ثم مقارنة النتائج مع سويات الجرعات الكهربية العالمية الصادرة عن الهيئات المتخصصة بالتعرض الكهربي. أظهرت النتائج ارتفاع SAR في حالة وجود الصمام مقارنة بعدم وجود الصمام بنسبة 160% عند التردد 0.9 غيغا هرتز، ونسبة 44% عند التردد 1.8 غيغا هرتز. كانت نتائج الدراسة ضمن الحدود المسموحة وفق النظم المعيارية العالمية للتعرض الكهربي.

المقدمة

استحوذت الكهربية في هذا العصر حتى على اهتمام الناس العاديين في المجتمع، حيث أن الحقول الكهربية تحيط بنا من كل جانب وتحتل مفاصل الحياة البشرية ونشاطها وتقدمها العلمي، ولذلك يصعب استيعاب جميع ظواهر الطيف الكهربي التي تخضع لمعادلات ماكسويل على الرغم من أن الدراسات الجارية في هذا المجال قادت إلى حقائق محددة وبعضها ما زال مثار جدل واسع في الأوساط البحثية.

تشكل حالياً بحوث التفاعلات الكهربية الحيوية مجالاً هاماً يستأثر بجهود ملحوظة للباحثين، وعلى الرغم من كثرة الأبحاث في مجال تأثيرات التعرض للحقول الكهربية على الأوساط الحيوية فما زالت نتائجها غير مؤكدة ومازالت المعرفة في هذا المجال من الأبحاث غير كاملة، حيث إن آلية التفاعل بين الحقول الكهربية والنسج ما زالت غير معروفة على وجه الدقة، شكل ذلك حافزاً لدراسة هذه الظواهر ومحاولة الوصول إلى نتائج مفيدة لتجنب التعرض للحقول الكهربية بشكل مباشر وتأثير التعرض خصوصاً بالنسبة للمرضى الذين لديهم أجهزة مزروعة داخل الجسم وتحديد مرضى الصمامات القلبية. تختلف تأثيرات التعرض الكهربي بين مؤذية وغير مؤذية، فيكون تأثير التعرض الكهربي في جسم الإنسان غير مؤذ إذا كانت هذه التأثيرات ضمن حدود مناعة الكائن الحي ضدها، إضافة إلى إمكانية التكيف الفيزيولوجي للجسم مع هذه التأثيرات. بينما يكون هذا التأثير مؤذياً إذا تجاوز الحدود المسموح بها مما يتطلب تحديد معايير عالمية لتحديد الجرعات الكهربية المسموح بها وسويتها.

الدراسات المرجعية

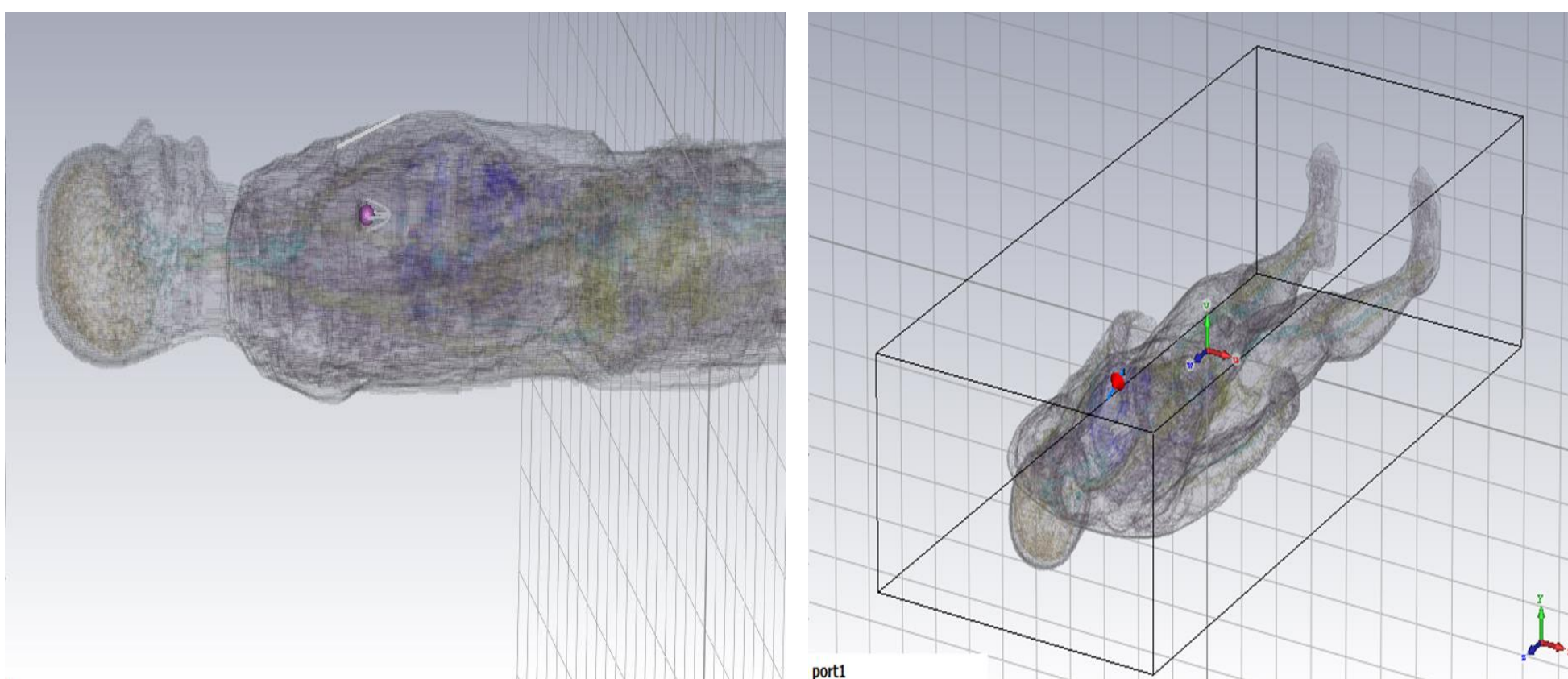
الدراسة	السنة	التقنية	البرنامج	محدد الدراسة	التردد	النتيجة
1	2017	FDTD	SIM4LIFE	Ein/Eout	0.1-10 MHz	زيادة في E [11]
2	2016	FDTD	CAD	SAR	900 MHz	زيادة SAR [14]
3	2020	FDTD	CST	SAR, E, H	1.8-0.9 GHz	زيادة في المحددات [18]
4	2006	FEM	In vitro	T	70-30 KHz	زيادة T [5]

الإجراء التجريبي

- يُدرس تأثير العامل الكهربي على الصمامات القلبية التعويضية بتقنية FDTD وبمساعدة البيئة البرمجية CST لملاحقة التغييرات الكهربية في الفراغ والزمن والتي ستلخص في قياسات معدل الامتصاص النوعي SAR المعتمدة على تغيرات الحقلين الكهربي والمغناطيسي.
- استدعى ذلك العمل على تقنيات البيئة البرمجية CST والتي لا تحوي مكتبات جاهزة للنماذج، ولذلك تطلب الأمر تصميم نموذج متكامل للجسم بكافة المكونات التشريحية من جلد وعظم وعضلات ودم وغير ذلك مع مراعاة الشروط الحدية والخصائص الكهربية والمغناطيسية لمكونات الجسم والصمام.
- تم تصميم نموذج يحاكي جسم الإنسان ومنبع للأمواج الكهربية لإجراء محاكاة لتفاعل الحقول الكهربية في النموذج وملاحقتها في الفراغ والزمن
- تم بناء نموذج صمام الكرة الميكانيكي التعويضي (باعتباره من أكثر الأنواع استخداماً) مكون من كرة من الستيل بقطر 20 mm وقفص وحلقة من التفلون بقطر خارجي 20 mm وداخلي 10 mm. يتم وضع الصمام التعويضي داخل القلب إضافة إلى نمذجة منابع للحقل الكهربي بالتريدين (0.9 & 1.8) GHz علماً أن هذه الترددات تمثل عمل أجهزة الجوال. يأخذ المنبع وضعية ملاصقة للجسم من جهة للقلب كحالة شائعة لحمل الجوال.
- قمنا بعد ذلك بإنشاء شبكة الحل وفقاً لشروط خوارزمية YEE ومراعاة الشروط الحدية وشروط الحل ضمن طبقة التوافق التام والتي تمنع تراكم الحقول المنعكسة من الجدران على الحقول الواردة.
- تم تشغيل النموذج الذي يتيح من خلاله مراقبة سلوك الأمواج الكهربية بمحددات الحقلين الكهربي والمغناطيسي وحساب معدل الامتصاص النوعي للجسم في الفراغ والزمن في حالتين:

1. نموذج الإنسان الطبيعي بدون الصمام القلبي الميكانيكي التعويضي
2. نموذج الإنسان في حالة وجود الصمام القلبي الميكانيكي التعويضي.

ومن ثم مراقبة الفرق ومقارنته بالمعيار العالمي ICNIRP

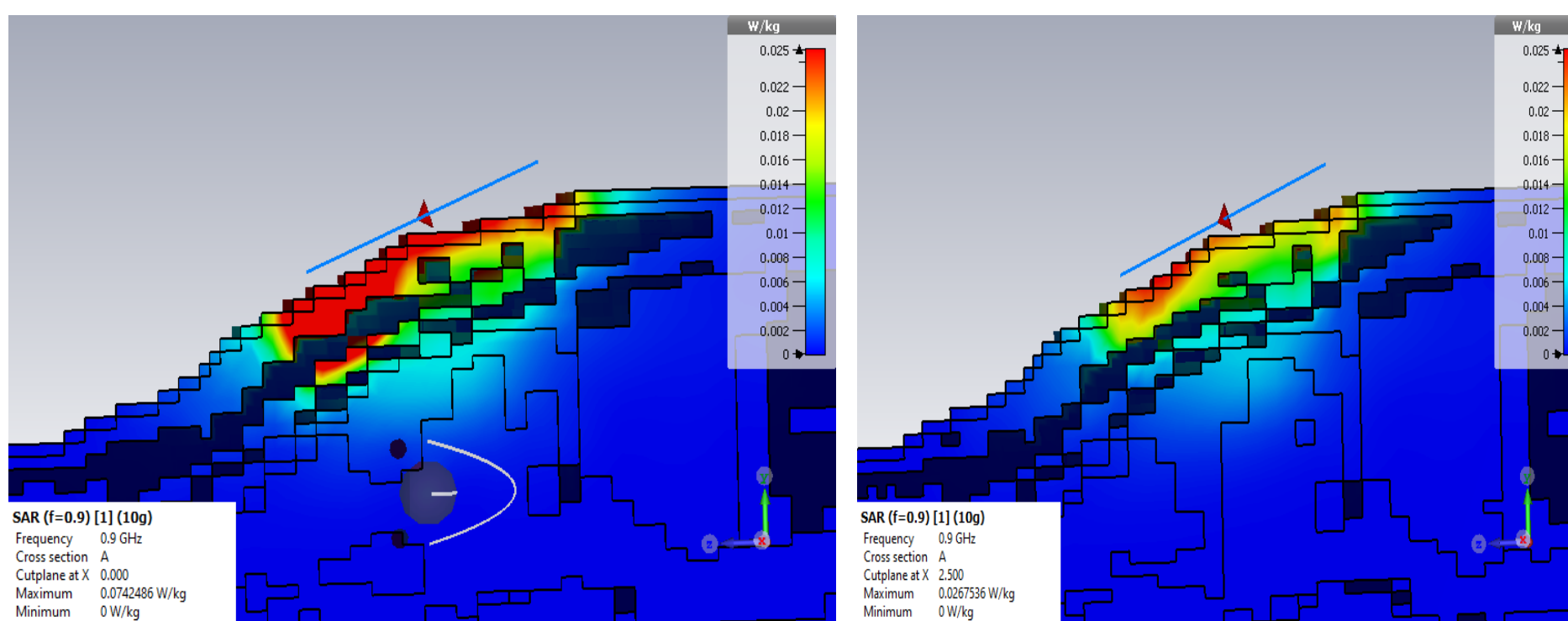


الصمام القلبي المزروع المصمم

النموذج البشري المصمم

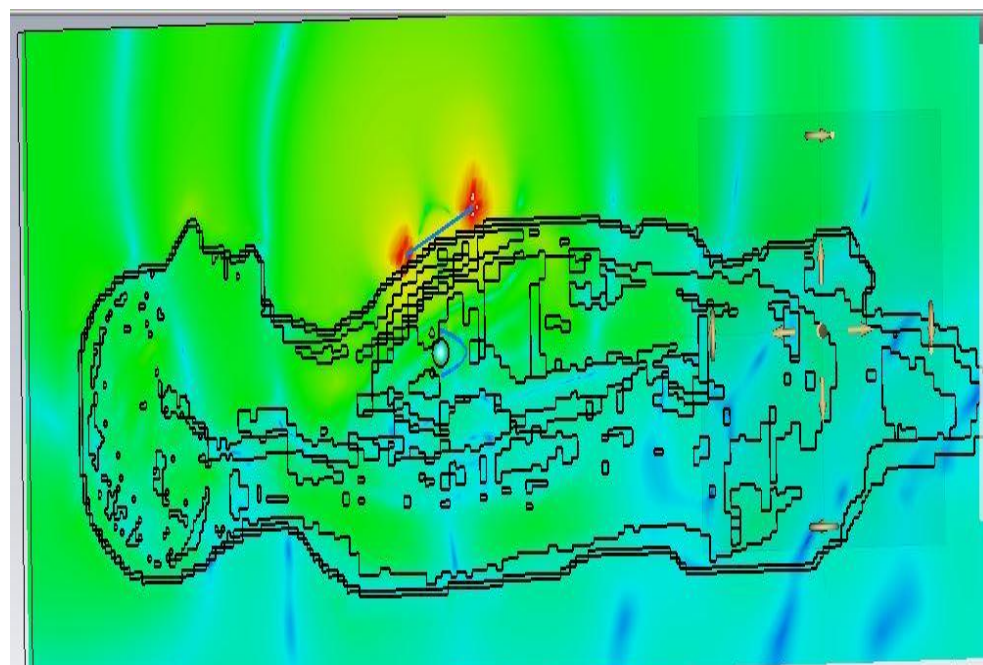
النتائج

1. بينت النتائج زيادة معدل الامتصاص النوعي بشكل ملحوظ عند زرع الصمام الميكانيكي التعويضي وصل إلى 160% عند التردد 0.9 غيغا هرتز و 44% عند التردد 1.8 غيغا هرتز، وهي زيادة تثير المخاوف حول تعرض الأشخاص ذوي الزرع المعدنية للحقول الكهربية.
2. يتضح من مقارنة نتائج البحث مع القيم المعيارية والتي تساوي عند الترددات المدروسة 2 [W/kg] أن التعرض الكهربي في الحالتين -عند عدم وجود الصمام والثانية عند وجوده- وعند التردد المدروسين يعتبر آمناً لأنه يقع ضمن الحدود المسموح بها.
3. يتبين من نتائج البحث أنه من الممكن إجراء متابعة لتغيرات SAR وأن هذه الطاقة تتركز بأعلى قيمها في موضع سقوط الموجة مما يسبب تسخينها موضعياً.

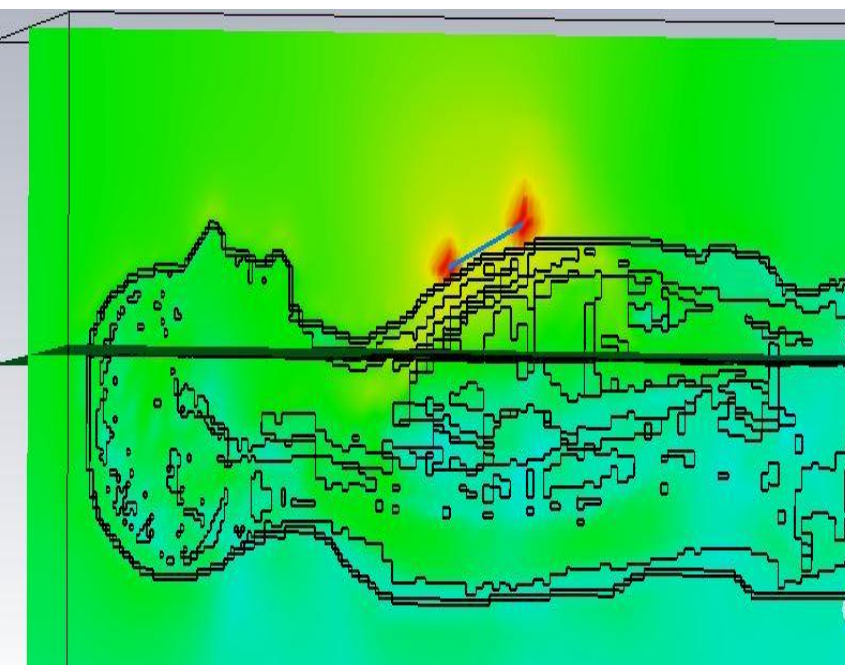


SAR في حالة وجود صمام

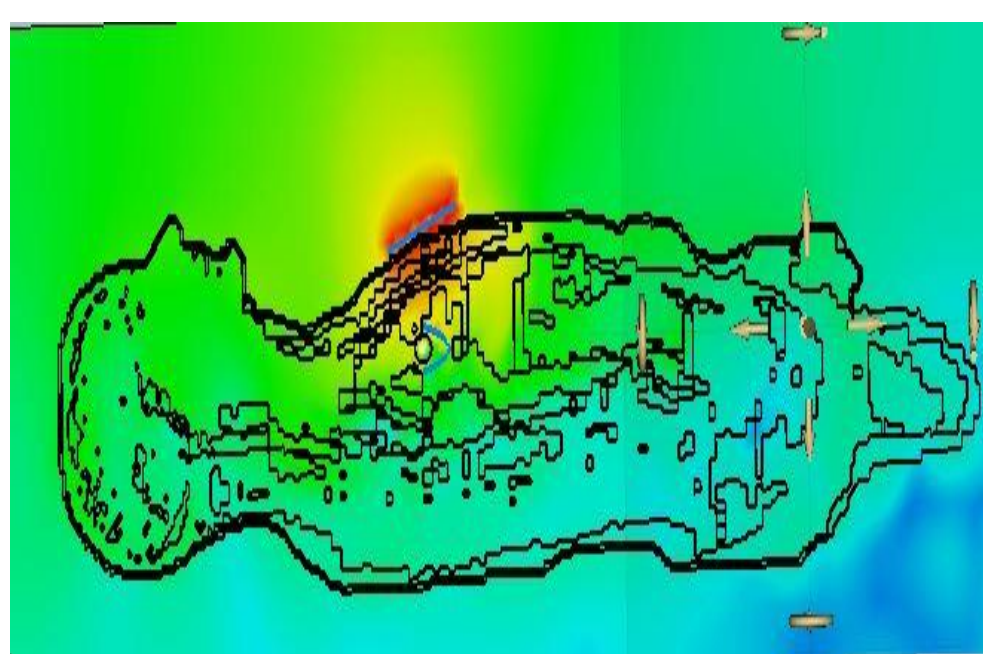
SAR في حالة عدم وجود صمام



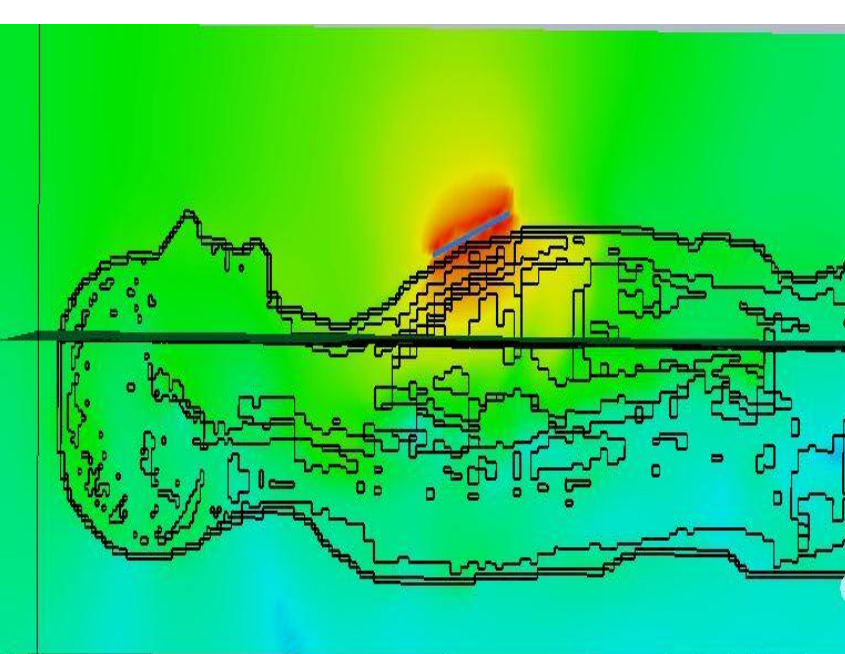
الحقل الكهربي عند وجود الصمام



الحقل الكهربي عند عدم وجود الصمام



الحقل المغناطيسي مع وجود الصمام



الحقل المغناطيسي دون وجود الصمام

المناقشة

تبين النتائج وجود ارتفاع ملحوظ في معدل الامتصاص النوعي ولكنه يبقى ضمن الحدود المسموح بها وفقاً للمعايير العالمية للجرعات الكهربية المسموح بها. تثير نتيجة معدل الامتصاص النوعي عند التردد 1.8 غيغا هرتز بوجود الصمام 1.47 [W/kg] المخاوف حول إمكانية وصول القيمة إلى القيم الحدية عند شروط تجربة أخرى (كزيادة التردد مثلاً) مما يشكل خطراً على صحة جسم الإنسان.

نستنتج مما سبق أن وجود صمامات معدنية مزروعة داخل الجسم أدى إلى زيادة بعض محدّدات هذه الحقول التي بدورها يمكن أن تفسّر وفق نموذجين هما: التأثير الحراري والتأثير غير الحراري.

يعبر الأثر الحراري عن الارتفاع في الحرارة والناتج عن امتصاص طاقة الحقل الكهربي المطبق على الأيونات الموجودة في الجسم والذي يزيد من حركتها، وبسبب مقاومة الجسم يزداد احتكاك مكونات الوسط مع بعضها البعض مما يؤدي إلى ارتفاع حرارة الوسط، من حيث المبدأ يستمر ارتفاع الحرارة حتى تصل إلى مستوى التوازن بتحقيق التوزع المتجانس للحرارة المنتشرة سواء بواسطة الدم المتحرك في الجسم أو السوائل الحيوية الأخرى، ويحتاج هذا التوازن إلى زمن يصل إلى عدة دقائق ويدعى بتقنية التوازن الذاتي.

الأثر غير الحراري: إن طاقة فوتونات الحقل ذات الترددات (0.9, 1.8) غيغا هرتز ضعيفة لا تستطيع كسر الروابط الكيميائية للحمض الريبي منقوص الأوكسجين DNA وبالتالي يمكن تفسير الأثر غير الحراري على أنه يظهر على شكل استقطاب في الخلايا ومكوناتها مما يؤثر على حركتها كما يمكن أن يؤثر الحقل الكهربي المطبق على جدران الخلايا على انتقال الشحنات الكهربية عبرها، لذلك عند سقوط الإشعاع على الخلية الحية تتأين بعض مكوناتها خاصة جزيئات الماء التي تمثل الجزء الأكبر من مكونات أي خلية، ويؤدي تأين جزيئات الماء إلى حدوث تغييرات كيميائية تؤدي بدورها إلى إحداث تغيير في تركيب ووظيفة الخلية، وهذا بدوره يمكن أن يؤدي إلى موتها أو تحولها إلى خلية سرطانية [7,8,26].

الخلاصة

إن وجود صمام قلبي ميكانيكي تعويضي داخل القلب أدى إلى تشكيل بؤر ومنايع للحقول والأمواج الكهربية أدت إلى تكثيف وتركيز معدل الامتصاص النوعي وبالتالي الطاقة الممتصة من قبل الأنسجة الحيوية، الأمر الذي يؤدي إلى ارتفاع درجة حرارة الدم مما قد يسبب إعاقات في عمل الصمام وبالتالي تؤثر على صحة المريض. يتضح عند مقارنة التأثير الكهربي بين حالة وجود الصمام وعدمه أن SAR في حالة غياب الصمام يتوزع قشرياً بشكل أعظمي عند جلد الإنسان، بينما يتوسع انتشار SAR ويزداد تركيزه في حالة وجود الصمام.

المراجع

- [1] Furse, C. (2009). Basic introduction to bioelectromagnetics [electronic resource]. Boca Raton, FL: CRC Press. Electronic book-click Linked Resources tab for access QP82, 2, E43.
- [2] Edwards, M. B., Taylor, K. M., & Shellock, F. G. (2000). Prosthetic heart valves: evaluation of magnetic field interactions, heating, and artifacts at 1.5 T. Journal of Magnetic Resonance Imaging: An Official Journal of the International Society for Magnetic Resonance in Medicine, 12(2), 363-369.
- [3] Arthur, C. G., & John, E. (2010). Hall. Text Book of Medical Physiology. Saunders, 9, 482-485.
- [4] Udpa, S. (2002). New electromagnetic methods for the evaluation of prosthetic heart valves. Journal of applied physics, 91(10), 7769-7773.
- [5] Tian, Y., Udpa, S. S., Nair, N., & Ramakrishnan, S. (2006). Modeling of electromagnetic heating effects during in vivo testing of prosthetic heart valves. IEEE transactions on magnetics, 42(10), 3563-3565.
- [6] Ramakrishnan, S., Nair, N. V., Clifford, R., Majumdar, S., Chan, S. C., Li, Y., ... & Udpa, S. S. (2005, May). An electromagnetic acoustic transduction technique for detecting strut fractures in artificial heart valves. In 2005 IEEE International Conference on Electro Information Technology (pp. 5-pp). IEEE.